

PAT-NO: JP408031718A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 08031718 A

TITLE: PROJECTION EXPOSURE METHOD AND PROJECTION EXPOSURE
DEVICE

PUBN-DATE: February 2, 1996

INVENTOR-INFORMATION:

NAME
OIIIZUMI, HIROAKI
ITO, MASAOKI
OGAWA, TARO

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
HITACHI LTD	N/A

APPL-NO: JP06159964

APPL-DATE: July 12, 1994

INT-CL (IPC): H01L021/027, G03F007/20 , G03F007/20 , G21K001/06

ABSTRACT:

PURPOSE: To improve the resolution of a projection exposure device by enhancing the monochromaticity of beams by at least two optical elements selected from a group consisting of an illumination optical element, an optical element, on which a desired pattern is drawn, and an image-sensing optical element.

CONSTITUTION: A wavelength, in which either one multilayer film in a reflection type mask 81, a convex reflecting mirror 92 and a concave reflecting mirror 91, on which multilayer films are loaded, gives maximum reflectivity, is made to differ from a wavelength, in which the other multilayer films give maximum reflectivity, in the periodic length of either one multilayer film. Consequently, the periodic length of at least one multilayer film of an optical element with an original plate or an optical element used for an optical system is adjusted so that a wavelength giving the maximum reflectivity of light projected to the optical element is made to differ from the multilayer film of the other optical element. As a result, the monochromaticity of light image-sensed by the optical system is improved. Accordingly, a fine pattern can be transferred on the surface of a body.

COPYRIGHT: (C)1996,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-31718

(43) 公開日 平成8年(1996)2月2日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/027				
G 0 3 F 7/20	5 0 3			
	5 2 1			
		H 0 1 L 21/ 30	5 3 1 E	
			5 3 1 A	
審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 10 頁) 最終頁に続く				

(21) 出願番号 特願平6-159964

(22) 出願日 平成6年(1994)7月12日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 老泉 博昭

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72) 発明者 伊東 昌昭

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72) 発明者 小川 太郎

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(74) 代理人 弁理士 薄田 利幸

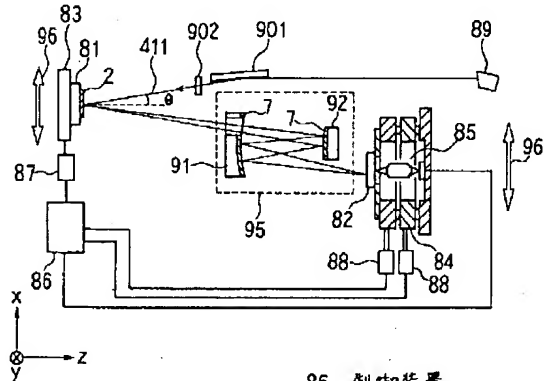
(54) 【発明の名称】 投影露光方法及び投影露光装置

(57) 【要約】

【目的】解像度を向上させた投影露光方法を提供すること。

【構成】X線源89からのビームを用い、照明光学素子である前置反射鏡901を介して、所望のパターンが描かれた反射型マスク81を照明し、このパターンを、凸面反射鏡92、凹面反射鏡91等の結像光学素子を介して、ウェハ82上に転写するときに、反射型マスク81上の多層膜2、凸面反射鏡92上の多層膜7、凹面反射鏡91上の多層膜7のいずれか1の多層膜が最大反射率を与える波長を他のそれと異なるようにすることにより、上記ビームの単色性を上げた投影露光方法。前置反射鏡901に多層膜が設けられていれば、これを他と異なるようにしてもよい。

図8



- 86…制御装置
 2, 7…多層膜
 81…反射型マスク
 82…ウェハ
 83…マスクステージ
 84…ウェハステージ
 85…アライメント装置
 87, 88…駆動装置
 91…凹面反射鏡
 92…凸面反射鏡
 95…結像光学系
 901…前置反射鏡
 902…窓

【特許請求の範囲】

【請求項1】真空紫外線からX線の所望の領域に波長を持つビームを用いて、少なくとも1つの照明光学素子を介して、所望のパターンが描かれた光学素子を照明し、該パターンを、少なくとも1つの結像光学素子を介して、基板上に転写する投影露光方法において、上記照明光学素子、上記所望のパターンが描かれた光学素子及び上記結像光学素子からなる群から選ばれた少なくとも2つの光学素子により、上記ビームの単色性を上げたことを特徴とする投影露光方法。

【請求項2】上記パターンを転写する方法は、縮小転写する方法であることを特徴とする請求項1記載の投影露光方法。

【請求項3】上記少なくとも2つの光学素子は、いずれも基板の上に、真空紫外線からX線の所望の領域の波長に対して光学定数の異なる少なくとも2種類の物質を交互に積層した多層膜を有することを特徴とする請求項1又は2記載の投影露光方法。

【請求項4】上記少なくとも2つの光学素子の多層膜は、反射率が最大となる波長が互いに異なっていることを特徴とする請求項3記載の投影露光方法。

【請求項5】上記少なくとも2つの光学素子の多層膜は、その周期長が互いに異なっていることを特徴とする請求項3記載の投影露光方法。

【請求項6】上記所望のパターンが描かれた光学素子は、真空紫外線からX線の所望の領域の波長に対して光学定数の異なる少なくとも2種類の物質を交互に積層した多層膜のパターンを有し、該多層膜のパターンの互いに隣接又は近接する少なくとも2つのパターンの反射面は、互いに平行で、かつ、反射面の高さが、反射面の法線と上記ビームの入射方向とのなす角 θ に対して、実質的に

$$\lambda \cdot (2n-1) / (4 \cdot \cos \theta)$$

(但し、 n は自然数である)だけ異なることを特徴とする請求項1から5のいずれか一に記載の投影露光方法。

【請求項7】上記所望のパターンが描かれた光学素子は、真空紫外線からX線の所望の領域の波長に対して光学定数の異なる少なくとも2種類の物質を交互に積層した多層膜のパターンを有し、該多層膜のパターンの互いに隣接又は近接する少なくとも2つのパターンは、上記少なくとも2種類の物質の積層順が互いに逆であることを特徴とする請求項1から5のいずれか一に記載の投影露光方法。

【請求項8】真空紫外線からX線の所望の領域に波長を持つビームを放射する光源と、所望のパターンが描かれた光学素子と、上記光源から放射されたビームを上記パターンが描かれた光学素子に照射するための少なくとも1つの照明光学素子と、上記パターンを基板上に転写するための少なくとも1つの結像光学素子を有する投影露光装置において、上記照明光学素子、上記所望のパター

ンが描かれた光学素子及び上記結像光学素子からなる群から選ばれた少なくとも2つの光学素子の組合わせを、上記ビームの単色性を上げるように構成したことを特徴とする投影露光装置。

【請求項9】上記結像光学素子は、上記パターンを基板上に縮小転写するように構成されたことを特徴とする請求項8記載の投影露光装置。

【請求項10】上記少なくとも2つの光学素子は、いずれも基板の上に、真空紫外線からX線の所望の領域の波長に対して光学定数の異なる少なくとも2種類の物質を交互に積層した多層膜を有することを特徴とする請求項8又は9記載の投影露光装置。

【請求項11】上記少なくとも2つの光学素子の多層膜は、反射率が最大となる波長が互いに異なっていることを特徴とする請求項10記載の投影露光装置。

【請求項12】上記少なくとも2つの光学素子の多層膜は、その周期長が互いに異なっていることを特徴とする請求項10記載の投影露光装置。

【請求項13】上記所望のパターンが描かれた光学素子は、真空紫外線からX線の所望の領域の波長に対して光学定数の異なる少なくとも2種類の物質を交互に積層した多層膜のパターンを有し、該多層膜のパターンの互いに隣接又は近接する少なくとも2つのパターンの反射面は、互いに平行で、かつ、反射面の高さが、反射面の法線と上記ビームの入射方向とのなす角 θ に対して、実質的に

$$\lambda \cdot (2n-1) / (4 \cdot \cos \theta)$$

(但し、 n は自然数である)だけ異なることを特徴とする請求項8から12のいずれか一に記載の投影露光装置。

【請求項14】上記所望のパターンが描かれた光学素子は、真空紫外線からX線の所望の領域の波長に対して光学定数の異なる少なくとも2種類の物質を交互に積層した多層膜のパターンを有し、該多層膜のパターンの互いに隣接又は近接する少なくとも2つのパターンは、上記少なくとも2種類の物質の積層順が互いに逆であることを特徴とする請求項8から12のいずれか一に記載の投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、真空紫外線やX線を用いて、像形成を行う投影露光方法及び投影露光装置に係り、特に半導体のパターン転写に適した投影露光方法及び投影露光装置に関する。

【0002】

【従来の技術】LSI(大規模集積回路)の固体素子の集積度及び動作速度を向上させるため、回路パターンの微細化が進んでいる。これらのパターンの形成には、露光光源を紫外線とする縮小投影露光法が広く用いられている。この方法の解像度は、およそ露光波長 λ と投影光

光学系の開口数NAに依存する。解像限界の向上は開口数NAを大きくとることにより行われてきた。しかし、この方法は焦点深度の減少と屈折光学系(レンズ)の設計及び製造技術の困難から限界に近づきつつある。このため、露光波長 λ を短くする手段が行われている。例えば水銀ランプのg線($\lambda=435.8\text{nm}$)からi線($\lambda=365\text{nm}$)、さらにKrFエキシマレーザ($\lambda=248\text{nm}$)等を用いる方法である。露光波長の短波長化により、解像度は向上するが、露光に用いる紫外線の波長の大きさからくる原理的な限界により、従来の光露光技術の延長では、 $0.1\mu\text{m}$ 以下の解像度を得ることはかなり困難となる。

【0003】一方、微細パターン形成方法に、露光に用いる光の波長をおよそ 0.5nm から 2nm の軟X線とする近接等倍X線露光法がある。この方法は露光波長が短いため、原理的に $0.1\mu\text{m}$ 以下の高い解像度を得られる可能性がある。一般に、所望の素子に回路パターンを形成するためには、ウエハ上のレジストにマスク上のパターンを転写する。近接等倍X線露光法では等倍X線マスクと呼ばれる透過型マスクが用いられる。等倍X線マスクにおけるX線が透過する部分は、メンブレンと呼ばれるSi、SiN、SiC、C等の軽元素材料で形成された通常 $2\mu\text{m}$ 程度の厚さの薄膜からなる。等倍X線マスクにおけるX線が吸収する部分として、メンブレン上に吸収体と呼ばれる厚さが $0.5\mu\text{m}\sim 1.0\mu\text{m}$ 程度でW、Au、Ta等の重金属からなる回路パターンが形成されている。等倍X線マスクは非常に剛性の弱いメンブレンの上に回路パターンが形成されているため、吸収体の重金属の内部応力やX線マスクを所定の露光装置に装着する際の外力等で回路パターンに歪みが生じ、所望の回路パターンをウエハ上のレジストに転写できない問題が起こっている。とくに近接等倍X線露光法では、等倍X線マスクのパターンが1対1の等倍でレジストに転写されるため、等倍X線マスク上のパターンの歪みはレジストに1対1に転写される。剛性の弱い等倍X線マスクのパターンに歪みが生じる問題は、近接等倍X線露光法で大きな課題となっている。

【0004】以上のような背景を元に、近年、真空紫外線や軟X線を露光光源としたX線縮小投影露光法が注目を浴びている。例えば、ジャパニーズ ジャーナル オブアプライド フィジクス、30号、11B巻、1999年 3051ページ(Japanese Journal of Applied Physics, vol 30, 11B, 1991, pp3051)にその方法が記載されている。図1は、従来のX線縮小投影露光法の露光光学系の例を示す模式図である。真空紫外線又は軟X線411を露光光とし、入射角 θ で斜めに入射して、真空中にて反射型マスク81を照明する。入射角 θ は種々の光学系で異なるが、およそ 1° から 15° 程度である。反射型マスク81を反射した光が反射光学系に集められるようにするため、X線縮小投影露光法の光学系で

は、入射角を 0° (直入射)とすることはできない。反射型マスク81は真空紫外線又は軟X線を正反射することができる多層膜21が形成され、さらには所定の多層膜からなるパターンが形成されている。反射型マスク81から反射した真空紫外線又は軟X線は、凸面反射鏡92で反射し、さらに凹面反射鏡91で反射し、ウエハ82上に到達し、所定のパターンが結像される。凸面反射鏡92、凹面反射鏡91には多層膜7が形成されている。

【0005】一般にこのような光学系において、図1のようにxyz座標系をとるとき、x方向を子午方向、y方向を球欠方向と呼ぶ。また、図1に示すような光学系で反射型マスク81の照明領域とウエハ82の露光領域を拡大するために、反射型マスク81を子午方向にウエハ82と同期して走査を行うことがある。露光、照明に用いる真空紫外線又は軟X線の波長はおよそ 20nm から 5nm 程度であるので、露光光の波長の大きさからくる原理的な解像力は向上する。

【0006】X線縮小投影露光法に用いる反射型X線マスクは、例えば図2に示すように、反射部である多層膜2の所定の部分を除去して、多層膜がない部分、すなわち非反射部3を形成するものである。ここで反射鏡やX線マスク等の光学素子として使用する基板1には、高い反射率を得るために、粗さのない超平滑基板が必要であり、一般には高価となる。

【0007】また、図3に示すように、多層膜2にイオンビーム5を所定のパターンに応じて走査、入射させ、イオンビームが入射した部分の多層膜の界面を破壊し、変質させて、非反射部22を形成したX線マスクもある。界面を破壊された多層膜はX線等を反射できない。また、特開昭64-4021号公報記載のように、超平滑基板1に直接付着した多層膜21の上に所定の厚さ及び形を有する吸収体パターン35を形成し、非反射部とする反射型マスクの例もある(図4)。

【0008】以上のような短波長の露光波長を用いたX線縮小投影露光により、 $0.1\mu\text{m}$ 幅以下のレジストパターンの形成も可能になってきている。しかし、解像力を上げるための短波長化又は高NA化には、おのずと限界がある。焦点深度や反射光学系の光軸と作業領域等の兼ね合いからNAの大きさに制限が生じる。また短波長化のためには短波長の軟X線を正反射できる多層膜反射鏡が必要になるが、短波長用多層膜の周期長は非常に短くなる。例えば、露光波長 5nm とすると、多層膜の周期長は約 2.5nm であり、一層当たりでは約 1.25nm となる。また露光波長 5nm 程度の領域では、高い反射率を得るために積層数を約200層(合計400層)程度とる必要がある。このような短周期の膜を数100層以上にわたり安定に積層して、短波長のX線に対して高い反射率を有する多層膜を製作するのはかなり困難となる。

【0009】この問題を回避するために、特開平4-118914号公報に、位相差を利用した反射型マスクが開示されている。図5に、このマスクの断面とこのマスクに単色性の強いX線等を照明したときの結像又は転写された像パターンの振幅及び強度分布を示す。予め反射型マスクの元の基板11の所望の場所に、自然数を n 、露光又は照射に用いる真空紫外線又はX線の波長を λ 、入射角を θ とすると、およそ $\lambda \cdot (2n-1) / (4 \cdot \cos \theta)$ で与えられる段差2201を付けておき、この上に多層膜を形成し、所定のパターンとする。段差のないところの形成された多層膜パターン22と、このパターンに近接又は隣接する段差上に設けられたパターン2203との高さの差が、上記の段差 $\lambda \cdot (2n-1) / (4 \cdot \cos \theta)$ となるように配置すると、結像光学系の解像限界を超えた微細パターンの転写、結像が可能になる。上記の段差2201をつけることにより、多層膜パターン22と、これに近接又は隣接するパターン2203とに入射し、反射する光の光路長が、真空中で反射光の位相がおよそ $\pm (2n-1) \cdot \pi$ だけずれるため、近接又は隣接するパターン2203の境界における光の振幅が互いに打ち消し合い、結像又は転写された像パターンのコントラストが増加する。

【0010】図6は、これと比較するために、通常の反射型マスクの断面図及びこのマスクにX線等を照明したときの結像又は転写された像パターンの振幅及び強度分布を示す図である。近接又は隣接するパターンの境界における光の振幅が互い重なりあい、結像又は転写された像パターンのコントラストが低下していることが分かる。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】上記特開平4-118914号公報に記載の従来技術は、位相差を利用して、近接又は隣接するパターンの境界における光の振幅が干渉して互いに打ち消し合い、結像又は転写された像パターンのコントラストを増加させるもので、そのためには照明光の単色性が必要である。光の単色性は、光の波長を λ 、光のバンド幅を $\Delta\lambda$ とすると、 $\lambda/\Delta\lambda$ で定義される。一般に光が干渉するには、光の単色性 $\lambda/\Delta\lambda$ がおよそ40以上必要とされる。

【0012】X線縮小投影露光における光源はシンクロトロン放射光やレーザープラズマ等が挙げられる。これらの光源は、波長に対してバンド幅を有する、すなわち連続スペクトルを有する光源である。光源から発せられた連続スペクトルを有するビームは、照明光学系や光路の途中にある窓材やフィルタを通ることにより、照明又は露光に用いる波長が選択される。一般に、X線縮小投影露光では、短波長のX線等は全反射反射鏡により、赤外線、可視光線、紫外線等の長波長光は窓材やフィルタにより、照明又は露光から除去され、真空紫外線からX線領域の波長を有するビームが反射型マスクに入射

る。反射型マスクの反射率が高い領域は、先に述べた図2、図3、図4に示されるような多層膜で形成されている。多層膜は、多層膜の周期長と入射角で決まるブラッグ条件をおよそ満足する波長を有する光を反射する。先に示したジャパニーズ ジャーナル オブ アプライド フィジクス、30号、11B巻、1999年 3051ページにも記載されているMo/Si系多層膜の典型的な分光反射率を図7に示す。このMo/Si多層膜は、反射率が最大となる波長を13.2nmとなるように設計されている。通常、分光反射率から最大反射率の半分を与える波長の幅でバンド幅 $\Delta\lambda$ を定義する。最大反射率を与える波長を露光波長 λ とすると、このMo/Si多層膜から反射した光の単色性 $\lambda/\Delta\lambda$ は、 $\lambda=13.2\text{nm}$ 、 $\Delta\lambda=0.65\text{nm}$ より、 $\lambda/\Delta\lambda=20$ となる。この場合、反射光の単色性が小さいので、先に述べた位相差を利用して、互いに近接又は隣接するパターンの境界における光の振幅が干渉して互いに打ち消しあい、結像又は転写された像パターンのコントラストを増加させることはできないという問題があった。

【0013】本発明の第1の目的は、解像度を向上させた投影露光方法を提供することにある。本発明の第2の目的は、解像度を向上させた投影露光装置を提供することにある。

【0014】

【課題を解決するための手段】上記第1の目的を達成するために、本発明の投影露光方法は、真空紫外線からX線の所望の領域に波長を持つビームを用いて、少なくとも1つの照明光学素子を介して、所望のパターンが描かれた光学素子を照明し、このパターンを、少なくとも1つの結像光学素子を介して、基板上に転写する投影露光方法であって、照明光学素子、所望のパターンが描かれた光学素子及び結像光学素子からなる群から選ばれた少なくとも2つの光学素子により、上記ビームの単色性を上げるようにしたものである。

【0015】また、上記第2の目的を達成するために、本発明の投影露光装置は、真空紫外線からX線の所望の領域に波長を持つビームを放射する光源と、所望のパターンが描かれた光学素子と、光源から放射されたビームをパターンが描かれた光学素子に照射するための少なくとも1つの照明光学素子と、上記パターンを基板上に転写するための少なくとも1つの結像光学素子を有する投影露光装置において、上記照明光学素子、上記所望のパターンが描かれた光学素子及び上記結像光学素子からなる群から選ばれた少なくとも2つの光学素子の組合わせを、上記ビームの単色性を上げるように構成したものである。

【0016】上記の少なくとも2つの光学素子とは、例えば、ある1つの照明光学素子と所望のパターンが描かれた光学素子という組合わせであってもよく、或は照明光学素子が2以上あるときは、ある照明光学素子と他の

照明光学素子という組合わせを選んでもよい。同様に結像光学素子が2以上あるときは、ある結像光学素子と他の結像光学素子の組合わせを選んでもよい。

【0017】また、少なくとも2つの光学素子は、いずれも基板の上に、真空紫外線からX線の所望の領域の波長に対して光学定数の異なる少なくとも2種類の物質を交互に積層した多層膜を有することが好ましい。この多層膜が入射した光の最大反射率を与える波長を2つの光学素子で異なるようにすれば、ビームの単色性を上げることができる。

【0018】

【作用】光学系を通過する光の分光強度又は光の単色性を考える。ここで、図8に投影露光装置の一例の模式図を示して本発明の作用を説明する。光学素子である原版を有する反射型マスク81、結像光学系である凸面反射*

10

表1

	入射角	周期長	最大の反射率を与える波長
反射型マスク	5°	6.60 nm	12.95 nm
凸面反射鏡	11.5°	6.85 nm	13.20 nm
凹面反射鏡	4°	6.74 nm	13.20 nm

【0021】図8に示すように、光源から発せられた連続スペクトルを有する光は、照明光学系である前置反射鏡901と窓902を通過し、真空紫外線からX線領域に波長を有する入射光411となる。入射光411は反射型マスク81に入射し、反射型マスク81に形成されている周期長6.60 nmを有する多層膜2により、最大反射率を与える波長が12.95 nmでバンド幅が0.6 nmである光が反射し、凸面反射鏡92に入射する。

【0022】図9(a)に反射型マスク81の多層膜の分光反射率特性を示す。また凸面反射鏡92及び凹面反射鏡91の分光反射率特性、それぞれ図9(b)、図9(c)に示す。反射型マスク81、凸面反射鏡92、凹面反射鏡91を反射した光は像面であるウェハ82に結像する。ウェハ82に到達する光の分光波長特性を図9(d)に示す。反射型マスク81に形成されている多層膜の周期長は、最大の反射率を与える波長が、凸面反射鏡92及び凹面反射鏡91で最大の反射率を与える波長とは異なるように形成されているので、物面であるウェハ82に結像する光のバンド幅は小さくなる。ここではウェハ82に結像する光のバンド幅は約0.3 nmであり、ウェハ82に結像する光の単色性 $\lambda/\Delta\lambda$ は13/0.3=43となる。この場合、ウェハ82に結像する光の単色性は40を超えているので、先に述べたように位相差を利用して、近接又は隣接するパターン境界における光の振幅が干渉して互いに打ち消し合い、結像された像パターンのコントラストが増加するため、微細なパターンが物面に転写できる。

【0023】ウェハ82に結像する光の単色性 $\lambda/\Delta\lambda$ ※50

*鏡92及び凹面反射鏡91にはそれぞれ、Mo/Siの多層膜2、7が形成されている。

【0019】反射型マスク81には、図10(a)に示したように、多層膜パターン22に近接又は隣接するパターン2203に段差2201をつけることにより、多層膜パターン22からの反射光と近接又は隣接するパターン2203からの反射光の位相の差は、およそ $(2n-1) \cdot \pi$ になるように、パターン2203に入射し反射する光の光路長が設定されている。各多層膜に関して、入射角、周期長及び最大の反射率を与える波長を下に示す。ただし、Moの1層とSiの1層の膜厚比は同じである。

【0020】

【表1】

※を大きくするには、図8に示した光学系では、多層膜を搭載した反射型マスク81、凸面反射鏡92、凹面反射鏡91の内、いずれか1つの多層膜の周期長を、この多層膜が最大の反射率を与える波長が、他の多層膜が最大の反射率を与える波長とは異なるようにすればよい。また、前置反射鏡901に多層膜が設けられていれば、その周期長を、この多層膜が最大の反射率を与える波長を、他の多層膜が最大の反射率を与える波長とは異なるようにしてもよい。

30

【0024】このように、原版を有する光学素子又は光学系に用いる光学素子の、少なくとも1つの多層膜の周期長を、光学素子に入射した光の最大反射率を与える波長が他の光学素子の多層膜に対して異なるように調整することにより光学系で結像される光の単色性が大きくなる。位相差を利用してコントラストを向上させる露光方法において、結像される光の単色性が大きいので、近接又は隣接するパターンの境界における光の振幅が干渉して互いに打ち消しあい、結像された像パターンのコントラストが増加して、微細なパターンが物面に転写できる。

【0025】

【実施例】

〈実施例1〉図8に示したX線投影露光装置に、光学素子である反射型マスク81を装着して、転写実験を行った。光学素子である反射型マスク81の構造を図10に示す。図10(a)は、反射率の高い領域である多層膜22に近接又は隣接する多層膜のパターン2203に、およそ $\Delta = \lambda \cdot (2n-1) / (4 \cdot \cos \theta)$ で与えられる段差2201をつけた構造の反射型マスクであ

40

る。多層膜パターン22からの反射光と近接又は隣接するパターン2203からの反射光の位相の差がおよそ $\pm(2n-1) \cdot \pi$ になるように、パターン2203に入射し反射する光の光路長が設定されている。

【0026】この反射型マスクは、石英基板上に、上記の Δ で与えられる厚さのアモルファスSi層を形成し、通常のフォトリソグラフィ技術で所定の形状とし、Mo/Si系多層膜を蒸着して製造する。段差は、AlやSiO₂等で形成してもよい。SiO₂を用いるときは、石英基板との間に、他の材質の膜を設ける等の方法を採用することが好ましい。

【0027】また、図10(b)に他の構造の反射型マスクを示す。反射率の高い領域である多層膜パターン22から反射する光と、隣接又は近接する反射率の高い領域の多層膜パターン221から反射する光の位相の差がおよそ $\pm(2n-1) \cdot \pi$ になるように、それぞれ多層膜を形成する材料A231と材料B232の膜厚を調節し、さらに、材料A231と材料B232の形成順を逆にしている。この反射型マスクは、多層膜パターン221の形成される部分をフォトレジストで覆って多層膜パターン22を形成し、その後、多層膜パターン221を材料の形成順を逆に形成する。

【0028】図11には反射型マスクに形成したパターンの幾つかの平面図例を示す。反射率の高い領域の多層膜パターン22に近接又は隣接して反射率の高い領域のパターン2203があり、両者から反射する光の位相の差がおよそ $\pm(2n-1) \cdot \pi$ となるように構成されている。パターン2203に変えて多層膜パターン221を形成するときも、平面図の位置は同じである。

【0029】再び図8に戻って説明する。反射型マスク81はマスクステージ83に搭載されている。ウェハ82はウェハステージ84に搭載されている。まず、反射型マスク81とウェハ82との相対位置をアライメント装置85を用いて検出し、制御装置86により駆動装置87、88を介して位置合せを行う。シンクロトロン放射光であるX線源89から放射されたX線を前置反射鏡901で集光し、SiNで形成された窓902を通過させ、反射型マスク81上の円弧領域を照明する。反射型マスク81と入射X線の位置関係は、例えば、図11(a)に示した細い多層膜パターン22の短軸方向が入射X線の球欠方向(図中y方向)に、多層膜パターン22の長軸方向が入射X線の子午方向(図中x方向)になるように設定した。

【0030】反射型マスク81で反射されたX線は、波長13nm近傍のX線からなり、凹面反射鏡91、凸面反射鏡92からなる結像光学系95により、ウェハ上に倍率1/5で結像する。凹面反射鏡91、凸面反射鏡92は、反射型マスク81と同様なMo/Si系多層膜を蒸着し、結像光学系の各多層膜の周期長は、表1に示したように、最大の反射率を与える波長がおよそ13.2

nmに一致するように調節されている。反射型マスク81の多層膜の周期長は、最大の反射率を与える波長が12.9nmに一致するように調節されている。反射型マスク81とウェハ82を倍率に応じて方向96にて同期走査を行い、反射型マスク全面のパターンをウェハに転写した。このような方法により、ウェハ上の20mm角の領域で0.07 μ m幅のパターンを得ることができた。本実施例では、反射型マスク81の多層膜の周期長を、最大の反射率を与える波長が他と異なるようにしたが、凹面反射鏡91、凸面反射鏡92のいずれかの多層膜の周期長を、最大の反射率を与える波長が他と異なるようにしてもよい。

【0031】〈実施例2〉図12に示すX線投影露光装置に図10に示した反射型マスクと同じ構造を有する反射型マスク81を装着して、反射型マスク81のパターンを、物面であるウェハ82へ転写する。ただし、多層膜はRu/BN構造とする。反射型マスク81と像パターンを形成するウェハ82は、それぞれマスクステージ83とウェハステージ84に搭載されている。まず、反射型マスク81とウェハ82との相対位置をアライメント装置85を用いて検出し、制御装置86により駆動装置87、88を介して位置合せを行う。X線源89から放射されたX線411を反射鏡90で集光し、BNで形成された窓97を通過し、反射型マスク81上の円弧領域を照明する。ここで、反射型マスク81と入射X線411の位置関係は、反射型マスク81の、例えば、図11(a)に示した細い多層膜パターン22の短軸方向が入射X線411の球欠方向(図中y方向)に、多層膜パターン22の長軸方向が入射X線の子午方向(図中x方向)になるように設定する。

【0032】反射型マスク81で反射されたX線は、波長10nm近傍のX線からなり、凹面反射鏡91、凸面反射鏡92、凹面反射鏡93及び反射鏡94からなる結像光学系95により、ウェハ上に倍率1/4で結像する。各反射鏡は、反射型マスク81と同様なRu/BN系多層膜を蒸着し、結像光学系の各多層膜の周期長は最大の反射率を与える波長がおよそ10.1nmに一致するように調節されている。また、反射型マスク81の多層膜の周期長は、最大の反射率を与える波長が9.9nmに一致するように調節されている。反射型マスク81とウェハ82を倍率に応じて方向96のように同期走査して、反射型マスク81全面のパターンをウェハ82に転写する。このような方法により、ウェハ82上の20mm角の領域で0.05 μ m幅のパターンを得ることができる。

【0033】〈実施例3〉図8に示したX線投影露光装置に、図10に示した反射型マスクと同じ構造を有する反射型マスク81を装着して、反射型マスク81のパターンを、物面であるウェハ82へ転写する。ここで凹面反射鏡91、凸面反射鏡92及び反射型マスク81は、

Mo/Si系多層膜を蒸着し、各光学素子の多層膜の周期長は、最大の反射率を与える波長がおよそ13.2nmに一致するように調節されている。前置反射鏡901に形成された多層膜の周期長は、最大の反射率を与える波長が12.9nmに一致するように調節されている。

【0034】実施例1と同様に、反射型マスク81とウェハ82を倍率に応じて同期走査して、反射型マスク全面のパターンをウェハに転写した。このような方法により、ウェハ上の20mm角の領域で0.07μm幅のパターンを得ることができた。なお、本実施例では、照明光学素子として、前置反射鏡1個の例を示したが、複数の照明光学素子が配置されていてもよい。

【0035】また、上記各実施例ではMo/Si系とRu/BN系多層膜の場合を説明したが、本発明は、各実施例で述べたような材料に制限されることなく、例えばNiCr/C、Ni/V、Ni/Ti、W/C、Ru/C、Rh/C、Rh/B₄C、RhRu/BN、Ru/B₄C、Mo/Si、Pd/BN、Ag/BN、Mo/SiN、Mo/B₄C、Mo/C、Ru/Be等の多層膜や、Mo/C/Si系やMo/C/Si/C系等の3層周期や4層周期を有するような多元系の多層膜でも実施可能である。また各実施例で用いた窓902及び窓97の材料として、SiN、BNの他、Si、SiC、ポリイミド、C膜等の軽元素材料も使用できる。また、各実施例で反射型マスクの非反射部は、多層膜を除去した構造としたが、多層膜表面に、吸収体を配置した構造としてもよい。

【0036】また、本実施例は反射型マスクの場合のみを説明したが、反射型マスクに何ら限定されることなく、回折格子やリニアゾンプレート等の反射面に微細パターンを有する光学素子にも適用できる。

【0037】

【発明の効果】以上述べてきたように、原版を有する光学素子又は光学系に用いる光学素子の少なくとも1つの多層膜の周期長を、その光学素子に入射した光の最大反射率を与える波長が、他の光学素子に入射した光の最大反射率を与える波長に対して異なるように調整することにより、光学系で結像される光の単色性が大きくなるので、原版を有する光学素子の多層膜パターンから反射するビームと、隣接又は近接するパターンから反射するビームの位相が反転し、パターンのコントラストが増加して、パターン像の解像性が向上する。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来のX線縮小投影露光法の露光光学系を示す模式図である。

【図2】従来の反射型マスクを示す断面図である。

【図3】従来の反射型マスクを示す断面図である。

【図4】従来の反射型マスクを示す断面図である。

【図5】段差を有する反射型マスクの断面図と結像したパターンの振幅と強度分布を示す図である。

【図6】従来の反射型マスクの断面図と結像したパターンの振幅と強度分布を示す図である。

【図7】Mo/Si多層膜から反射する光の分光強度特性を示す図である。

【図8】本発明のX線縮小投影露光装置の一例の模式図である。

【図9】本発明のX線縮小投影露光に用いる各光学素子の一例の分光反射特性と結像される光の分光強度を示す図である。

【図10】実施例に用いた光学素子である反射型マスクの断面図である。

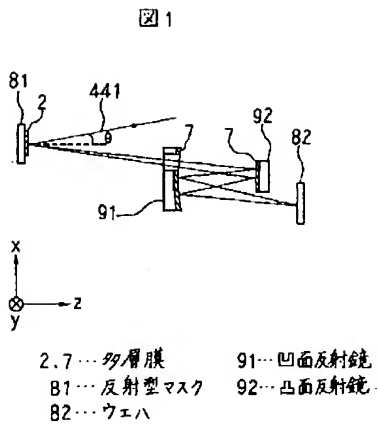
【図11】実施例に用いた光学素子の多層膜パターンの平面図である。

【図12】本発明のX線縮小投影露光装置の他の例の模式図である。

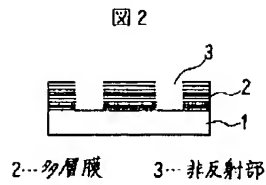
【符号の説明】

- 1、11…基板
- 2、7、21…多層膜
- 3、222…非反射部
- 5…イオンビーム
- 22、221…多層膜パターン
- 35…吸収体パターン
- 81…反射型マスク
- 82…ウェハ
- 83…マスクステージ
- 84…ウェハステージ
- 85…アライメント装置
- 86…制御装置
- 87、88…駆動装置
- 89…X線源
- 90…反射鏡
- 91、93…凹面反射鏡
- 92…凸面反射鏡
- 94…反射鏡
- 95…結像光学系
- 96…方向
- 97、902…窓
- 231…材料A
- 232…材料B
- 411…入射光
- 441…軟X線
- 901…前置反射鏡
- 2201…段差
- 2203…パターン

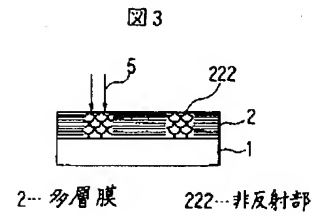
【図1】



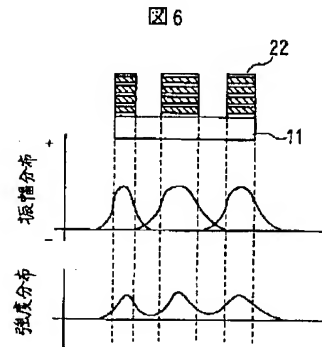
【図2】



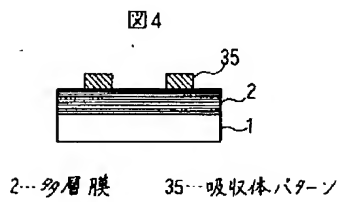
【図3】



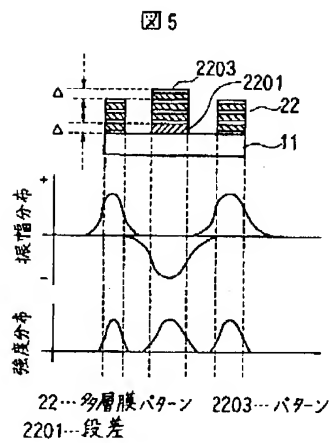
【図6】



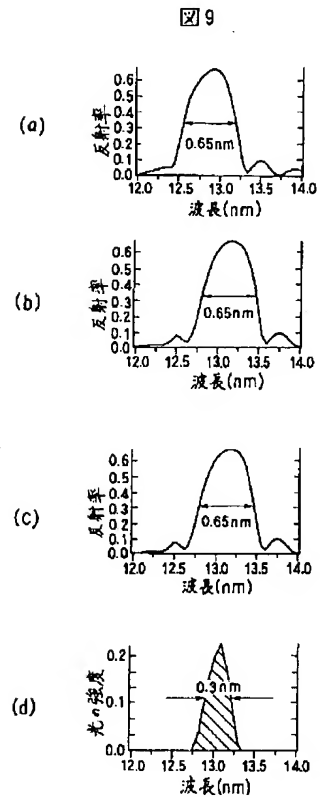
【図4】



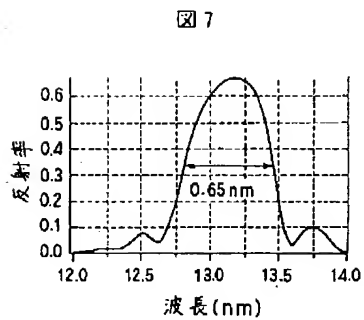
【図5】



【図9】

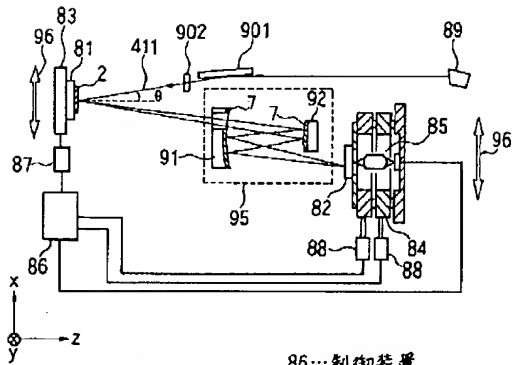


【図7】



【図8】

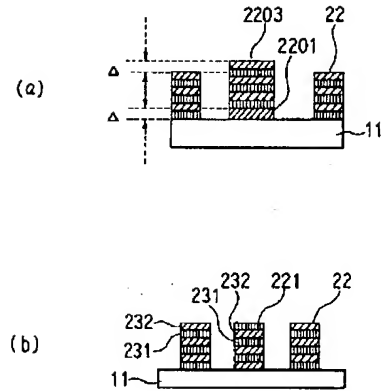
図8



- 86…制御装置
87, 88…駆動装置
81…反射型マスク
91…凹面反射鏡
82…ウェハ
92…凸面反射鏡
83…マスクステージ
95…結像光学系
84…ウェハステージ
901…前置反射鏡
85…アライメント装置
902…窓

【図10】

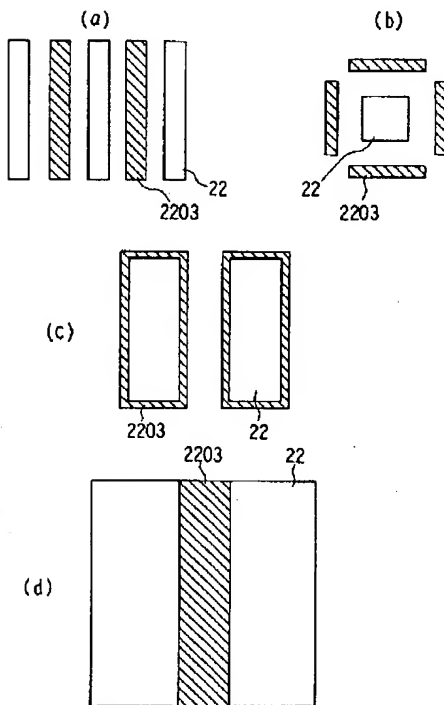
図10



- 22, 221…多層膜パターン
2201…段差
231…材料A
2203…パターン
232…材料B

【図11】

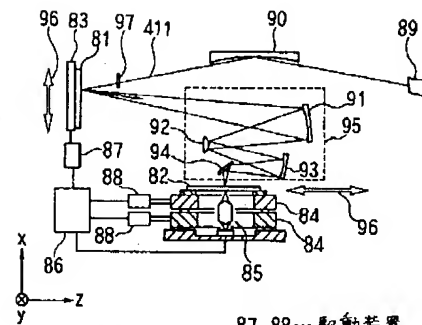
図11



- 22…多層膜パターン
2203…パターン

【図12】

図12



- 87, 88…駆動装置
81…反射型マスク
82…ウェハ
83…マスクステージ
84…ウェハステージ
85…アライメント装置
86…制御装置
90…反射鏡
91, 93…凹面反射鏡
92…凸面反射鏡
94…反射鏡
95…結像光学系
97…窓

フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁶

G 2 1 K 1/06

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

B
M